

BIM NO PROJETO DE ESTRUTURAS DE OBRAS HIDROELÉTRICAS

Alexandre Marques ⁽¹⁾, Miguel Azenha ⁽¹⁾, André Ferreira ⁽²⁾

(1) ISISE, Universidade do Minho, Guimarães

(2) EDP Produção, Porto

Resumo

Pretendeu-se com este trabalho avaliar os principais desafios à implementação do BIM na fase de projeto de obras hidroelétricas. Para isso, foram elaborados modelos BIM deste tipo de empreendimentos, com aplicação a várias componentes estruturais no contexto do reforço de potência Venda Nova III. Um dos mais importantes desafios prendeu-se com a complexidade geométrica das peças a modelar, tendo-se recorrido à sinergia entre a linguagem de programação visual *Dynamo* e a plataforma BIM *Revit*. Os modelos criados foram explorados para diversos ‘usos BIM’, como obtenção de desenhos de execução e extração de quantidades. Adicionalmente à descrição da elaboração e exploração de modelos, este artigo detalha também um plano de implementação BIM específico com a finalidade de impulsionar e facilitar a implementação de metodologias BIM no departamento de Fundações e Estruturas da Direção de Engenharia de Barragens da EDP Produção.

1. Introdução

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção sofre mudanças graduais nos seus processos, nomeadamente com a aplicação crescente de tecnologias de informação, materializada na implementação do BIM – ‘Building Information Modelling’. A nível internacional, já há relatos de empresas que implementaram esta metodologia, tendo apontado diversos benefícios com a mudança, nomeadamente em termos de gestão de cronogramas, estimativas e análises de risco, havendo também melhoria nos processos colaborativos e uma gestão mais eficaz de instalações. Além destes fatores, a metodologia BIM permite ainda testar diversas soluções em curtos intervalos de tempo, visto que se materializa num modelo tridimensional parametrizado, e permite uma melhor integração das diferentes especialidades de um projeto, podendo facilmente ser detetados e corrigidos problemas relacionados com erros e incompatibilidades [1].

Em termos de aplicação do BIM a obras hidroelétricas, a informação disponível é bastante parca, havendo apenas relatos de implementações na China, embora não tenham sido, ainda, exploradas todas as dimensões e potencial associados à metodologia. Apesar disso, a expectativa é que no futuro se atinjam os mesmos resultados que em obras de complexidade menor [2].

Tendo em conta o exposto, o presente trabalho pretende avaliar os principais entraves, em termos técnicos de modelação e processos de implementação, à mudança de paradigma para obras hidroelétricas, nomeadamente na fase de projeto. O artigo contempla uma parte inicial de descrição das particularidades inerentes às obras hidroelétricas, bem como dos principais desafios que se colocam à utilização de metodologias BIM nesse contexto (Secção 2). Seguidamente, na Secção 3, é apresentada a modelação de duas peças teste do aproveitamento hidroelétrico Venda Nova III, com recurso a programação visual (Dynamo/Revit): (i) a central; (ii) a tomada de água. Com base na informação incorporada nos modelos, na Secção 4, são explorados alguns ‘usos BIM’ de interesse para o departamento de Fundações e Estruturas da Direção de Engenharia de Barragens da EDP Produção: geração automática de peças desenhadas e extração de quantidades. Finalmente discutem-se alguns aspetos relativos ao plano de implementação/execução BIM elaborado (Secção 5) e conclusões finais do trabalho (Secção 6).

2. Obras Hidroelétricas e Implementação BIM

2.1 Aspetos gerais de um Aproveitamento Hidroelétrico

Um aproveitamento hidroelétrico tem como objetivo a utilização da energia potencial de uma massa de água, num dado desnível topográfico, transformando-a em energia elétrica. Assim, as zonas preferenciais para a produção de energia são zonas montanhosas, zonas de elevada pluviosidade e bacias hidrográficas de maior dimensão.

O processo para produção de eletricidade baseia-se em conversão sucessiva de energia. A barragem, componente de um aproveitamento hidroelétrico, forma uma reserva de água, ‘rica’ em energia potencial gravítica. Esta reserva de água é depois captada para o circuito hidráulico, na tomada de água, percorrendo o túnel de adução até à turbina, que se encontra na central. Neste escoamento há conversão de energia potencial gravítica em energia cinética. A passagem da água pela turbina move as lâminas desta num movimento rotacional, sendo a energia cinética convertida em energia mecânica. O alternador transforma, depois, a energia mecânica em energia elétrica.

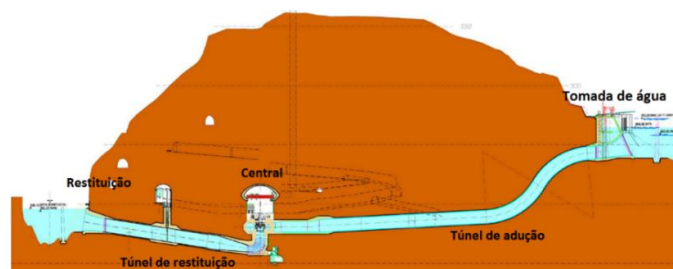


Figura 1: Perfil longitudinal de Picote II. Adaptado de [3].

Após passagem pela turbina a água segue para a restituição, através do túnel da restituição. Na Figura 1 é possível observar um corte longitudinal adaptado do reforço de potência do Aproveitamento Hidroelétrico de Picote - Picote II - estando identificadas as principais componentes do circuito hidráulico (tomada de água, túnel de adução, túnel de restituição e restituição) e a central.

2.2 Desafios à implementação BIM

Há um conjunto de barreiras e limitações que têm culminado numa adoção relativamente lenta das práticas BIM em contexto profissional. Além das condicionantes de natureza técnica, que procuram ser ultrapassadas pelos produtores de *software* com a criação de plataformas BIM cada vez mais potentes e pela evolução tecnológica que permite *hardware* cada vez mais capaz, há ainda a considerar a mudança cultural, interpretada por muitas empresas como o principal entrave à alteração de paradigma na indústria. O conservadorismo e resistência à mudança por parte de profissionais experientes da indústria é, apesar de tudo, tendencialmente contrariado pelos profissionais mais novos, que são em geral mais recetivos à adoção de tecnologias de informação. Há ainda a destacar o investimento (a nível de *software* e treino de colaboradores), a lenta curva de aprendizagem (além dos *softwares* há novos processos de trabalho), o maior envolvimento de equipa (necessário promover uma maior interação colaborativa), a interoperabilidade (o formato IFC não está, ainda, isento de falhas) e aspetos relacionados com responsabilização/autoridade (não devem ser comprometidos direitos de autor e responsabilização dos diferentes intervenientes) [4].

No caso particular de projetos de aproveitamentos hidroelétricos, há um agravamento de alguns dos aspetos anteriormente referidos. A elevada dimensão destes empreendimentos eleva o risco da adoção de metodologias BIM e o número de entidades envolvidas. Além do dono de obra e do empreiteiro, há ainda a considerar a influência que o fornecedor de equipamentos ou empresas subcontratadas (para estudos, projeto de estruturas, medidas geotécnicas, entre outros) têm no processo, sendo ponto assente que quanto maior for a adoção por parte dos diferentes intervenientes, maiores serão os potenciais benefícios obtidos com a mudança de paradigma. Também o facto de se tratarem de empreendimentos de elevada complexidade conduz a um aumento da inércia por parte das empresas na adoção do BIM, pois requer maiores conhecimentos por parte dos colaboradores na exploração de *software*, agrava as limitações da interoperabilidade e complica as questões de responsabilização/autoridade devido à maior complexidade do ambiente de partilha.

3. Modelação

Com o objetivo de obter uma melhor perceção acerca dos desafios técnicos à implementação BIM no contexto da Direção de Engenharia de Barragens da EDP, optou-se pela modelação de três constituintes de um aproveitamento hidroelétrico em casos particulares que foram objeto de projeto recente na EDP: uma central (Venda Nova III), uma tomada de água (Venda Nova III) e uma restituição (Fridão). No presente artigo será apresentada a modelação da central e da tomada de água, sendo que a restituição seguiu uma estratégia análoga à adotada no caso da tomada de água.

3.1 Estratégia global

O *software* escolhido para a modelação das componentes supracitadas foi o *Revit Structure*, da *Autodesk*. Esta escolha baseou-se em três aspetos fundamentais: (i) comprovada capacidade do *software* em questão no contexto BIM, sendo inclusive um líder de mercado a nível global; (ii) existência de licença de utilização *Revit* na EDP; (iii) experiência prévia disponível na utilização da plataforma. No entanto, quer as plataformas BIM em geral, quer a plataforma utilizada estão otimizadas para modelação de edifícios, não incorporando normalmente capacidades de modelação expedita de peças complexas como as que compõem os circuitos hidráulicos de interesse no contexto deste trabalho. Por essa razão foi necessário o recurso a soluções complementares. Considerou-se que a ferramenta de programação gráfica *Dynamo*, que é gratuita e pode ser associada diretamente à plataforma *Revit* (como uma extensão) poderia constituir-se como uma solução viável, pelo que foi adotada para apoio à modelação. Esta associação direta entre *Dynamo* e *Revit* traz também a interessante característica de minimizar potenciais problemas de interoperabilidade caso fossem utilizadas aplicações totalmente independentes.

Assim, estabeleceu-se a estratégia de que a modelação de uma componente/obra seria repartida pelo *Revit* e pelo *Dynamo*. Os elementos mais complexos, e que constituem um desafio de modelação no *Revit*, são modelados recorrendo a programação visual (*Dynamo*), enquanto a restante estrutura segue o processo de modelação corrente com base em classes de objetos já disponíveis nas plataformas BIM.

3.2 Central de Venda Nova III

A central é a componente de um aproveitamento hidroelétrico que mais se assemelha a um edifício corrente. Apesar disso, a central contém estruturas de betão de elevada complexidade, com o objetivo de fornecer suporte ao alternador e à turbina. Na Figura 2 são apresentados alguns cortes da central, a título ilustrativo.

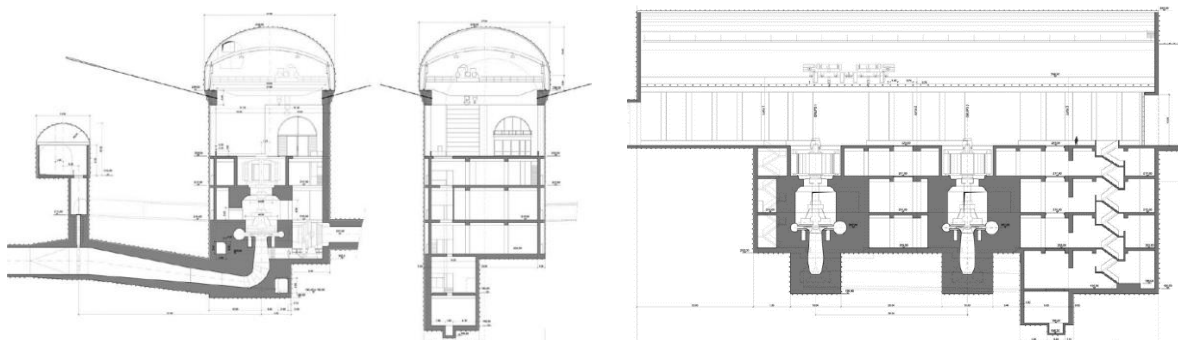


Figura 2: Cortes da Central de Venda Nova III: transversais (esquerda) e longitudinal (direita).

A turbina, do tipo Francis, é composta por diferentes componentes, nomeadamente a espiral e tubo de aspiração, representados na Figura 3. A obtenção do modelo de estruturas da Central exigiu a modelação do maciço de betão envolvente destes equipamentos, de forma a garantir a adequada complementaridade geométrica do maciço de suporte.

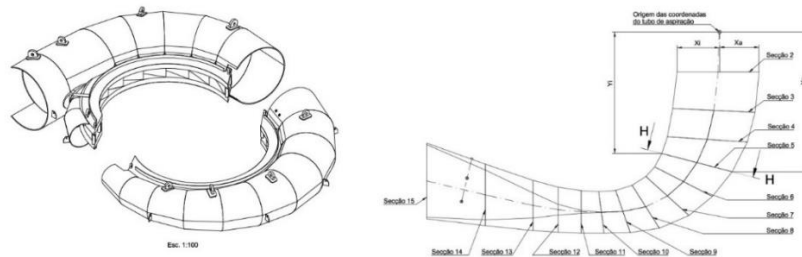


Figura 3: Equipamento hidromecânico de Venda Nova III: vista 3D da espiral (esquerda) e corte longitudinal do tubo de aspiração (direita).

Esta modelação foi realizada com recurso ao *Dynamo*, tendo-se criado um algoritmo de programação gráfica em que os parâmetros manipuláveis pelo utilizador correspondem aos parâmetros identificados pelo fornecedor de equipamentos de forma a que, numa obra futura, seja apenas necessário adaptar o algoritmo ao invés da criação de raiz do objeto. Na Figura 4 são apresentadas ilustrações de objetos gerados pela ferramenta desenvolvida.



Figura 4: Modelos da espiral (esquerda) e tubo de aspiração (direita).

Para a restante estrutura foram utilizadas famílias nativas do *Revit* (p.ex. pilar, viga), sendo que a modelação partiu de desenhos de execução a duas dimensões. Nesta componente foram aplicadas metodologias de modelação que visam uma extração correta de quantidades a partir do modelo. O modelo final apresenta um nível de desenvolvimento (LOD) de 300 [5] para os diferentes elementos, sendo apresentado na Figura 5.

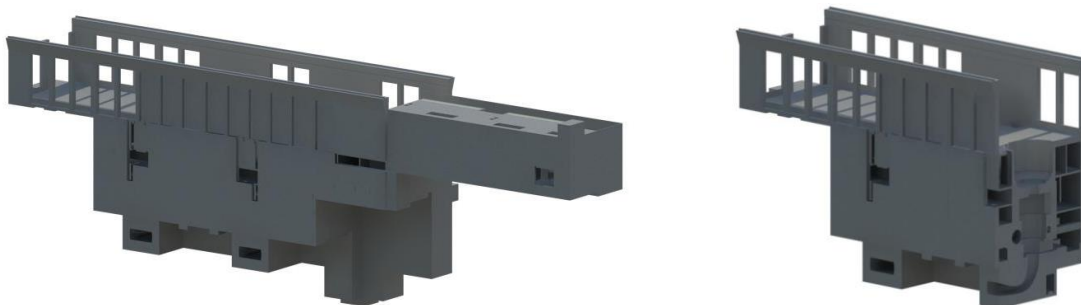


Figura 5: Modelo da Central: modelo 3D (esquerda) e corte tridimensional (direita).

3.3 Tomada de água de Venda Nova III

A tomada de água, cuja fotografia se encontra na Figura 6, é constituída por diferentes elementos, nomeadamente: o bocal, maciço de suporte, torre de manobra de comportas e um pórtico de apoio à movimentação destas [6].



Figura 6: Tomada de água de Venda Nova III.

Dada a complexidade geométrica da tomada de água recorreu-se maioritariamente à programação visual em *Dynamo* para a sua modelação. Optou-se ainda por incorporar neste modelo parte revestida do túnel de adução e a topografia.

Foi, então, realizada uma análise dos elementos a modelar em *Dynamo*, estudando-se diferentes estratégias de modelação, e entendeu-se que a mais intuitiva corresponde à obtenção do elemento por subtração sequencial de volumes modelados parametricamente, que correspondem a vazios. Assim, para estes elementos, partiu-se de um prisma retangular de geometria simples e, por operações de subtração de volumes cujos parâmetros são controlados pelo utilizador, obtém-se a geometria pretendida. Este processo é demonstrado na Figura 7, para o caso do bocal.

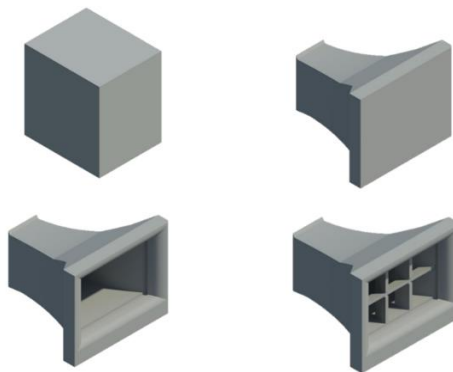


Figura 7: Evolução da geometria do bocal.

O modelo final da tomada de água é apresentado na Figura 8, estando apto para obtenção de desenhos de execução.

Uma vez obtido o modelo da tomada de água, optou-se por explorar também outros fatores, nomeadamente a modelação de armaduras para elementos desta complexidade. Assim, e tendo em conta a existência no mercado de *softwares* que agilizam este processo e a intenção de testar a interoperabilidade neste âmbito, optou-se por explorar o *Tekla Structures*. O modelo foi transmitido entre *softwares* através do formato de ficheiros IFC.

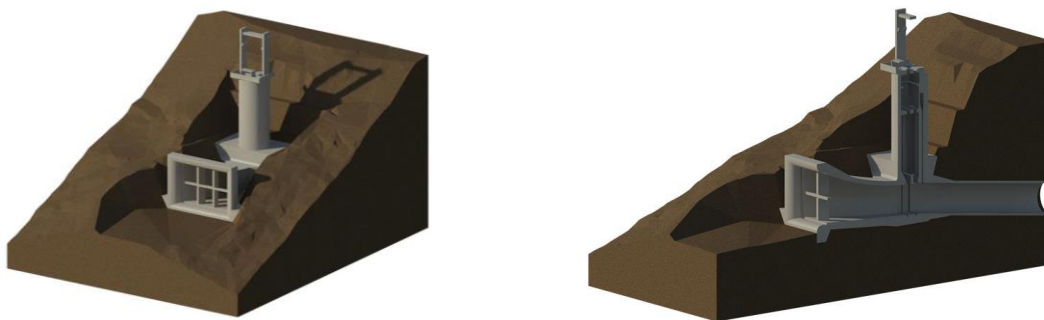


Figura 8: Modelo da tomada de água: modelo global (esquerda) e corte tridimensional (direita).

A modelação de armaduras constituiu um elevado esforço de modelação, com um incremento significativo do tempo investido com a passagem de LOD 300 para LOD 400. Contudo, esta passagem traduz-se na existência de um modelo muito rico em informação, melhorando a qualidade do projeto e reduzindo erros construtivos. O modelo é parcialmente apresentado na Figura 9.

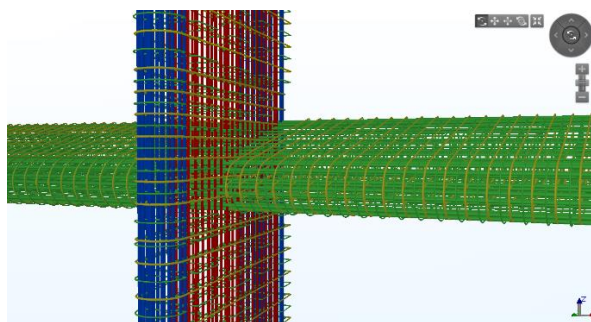


Figura 9: Representação parcial do modelo de armaduras desenvolvido.

4. Usos BIM

Uma vez criado o modelo BIM, e tendo em conta que se trata de um modelo rico em informação geométrica e não geométrica, este pode ser explorado para diferentes ‘usos’, de forma a ir ao encontro das exigências de um projeto. Assim, na presente secção, são explorados/discutidos dois usos dos modelos BIM de especial interesse no contexto deste trabalho: geração de peças desenhadas e extração de quantidades.

4.1 Geração de peças desenhadas

Definiu-se como objetivo demonstrar que é possível aproximar, em termos de conteúdo e aspeto, os desenhos obtidos a partir do modelo BIM aos desenhos de execução tradicionais, sendo que a componente escolhida para este fim foi a tomada de água de Venda Nova III. Optou-se também por iniciar a criação de um ‘*template*’ (ficheiro *Revit* padrão com determinadas características já definidas) do departamento, de forma a facilitar a futura obtenção de mais desenhos noutros projetos. Na Figura 10 são comparados os desenhos obtidos pela metodologia tradicional, com aqueles que se obtém de forma automática a partir do modelo

BIM. Pôde confirmar-se um excelente desempenho e automatização deste processo em contexto BIM.

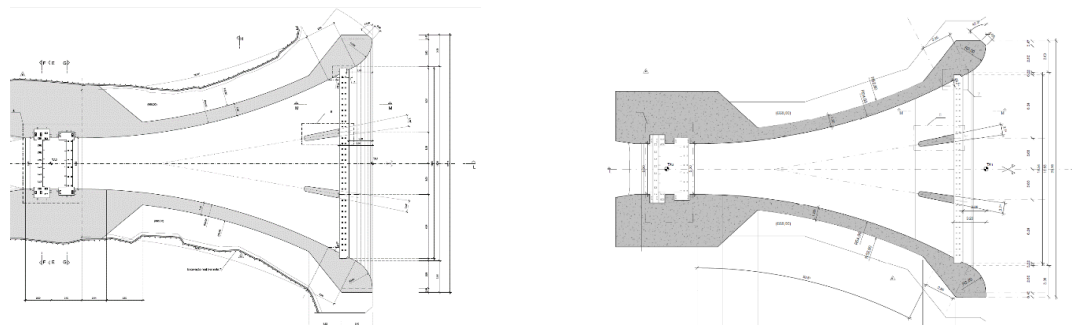


Figura 10: Desenho de execução tradicional (esquerda) e desenho obtido a partir do modelo BIM (direita).

4.2 Extração de quantidades

O facto de os modelos BIM conterem informação básica como volume, material e o agrupamento dos elementos por famílias torna possível a extração automática de quantidades a partir do modelo. De facto, a extração automática de quantidades a partir do modelo BIM constitui uma vantagem comparativamente com a metodologia de trabalho corrente, pois transforma um processo tradicionalmente moroso e propenso ao erro num processo rápido (medições são obtidas em poucos minutos) e com elevado rigor. O facto de ser possível adicionar parâmetros e recorrer aos sistemas de classificação torna possível um elevado nível de personalização de tabelas/mapas de quantidades, de forma a corresponder da melhor maneira ao que o utilizador pretende. Estas tabelas são também adequadas para obtenção de rigorosas estimativas de custo [1]. A título exemplificativo é apresentado na Tabela 1 um extrato da medição das paredes da central de Venda Nova III compreendidas entre as cotas 217 m e 221 m.

Tabela 1: Parte de tabela com volumes de betão de paredes da Central de Venda Nova III compreendidas entre as cotas 217 m e 221 m.

Paredes 217m – 221m				
Tipo	Material	Espessura	Comprimento	Volume
Parede 1,15m	Betão	1,15m	18,44m	238,57 m ³
Parede 1,15m	Betão	1,15m	14,20m	183,71 m ³
Parede 1,15m	Betão	1,15m	5,80m	74,98 m ³
Parede 1,15m	Betão	1,15m	8,30m	107,38 m ³
Parede 0,30m	Betão	0,30m	2,14m	4,11 m ³
Parede 0,30m	Betão	0,30m	5,07m	9,52 m ³

5. Plano de Execução em contexto empresarial

De forma a promover uma implementação bem sucedida de metodologias BIM, é essencial que a equipa de projeto realize um planeamento detalhado e exaustivo [7]. Como resposta a este

fator, é importante que a equipa de projeto desenvolva um plano de execução BIM, doravante designado BEP (*BIM Execution Plan*). O desenvolvimento deste documento deve permitir ao dono de obra e aos membros de projeto [8]:

- Entender claramente os objetivos estratégicos para a implementação BIM no projeto;
- Perceber as suas funções e responsabilidades a nível de criação de modelos, manutenção e colaboração nas diferentes fases de projeto;
- Desenvolver um processo apropriado para participarem na implementação;
- Delinear eventuais recursos ou serviços adicionais que possam ser necessários;
- Providenciar uma base de referência para medir o progresso ao longo do projeto.

Neste contexto, optou-se pelo desenvolvimento de um documento de apoio à implementação de metodologias BIM na empresa. Neste documento são definidos elementos do plano de execução padrão para diferentes projetos, tal como a definição de objetivos BIM, de usos BIM (onde é, também, sugerida uma metodologia para a sua seleção), são apresentadas novas funções atribuíveis aos recursos humanos, decorrentes da adoção do BIM, e atribuídos os seus responsáveis. São também mapeados processos para garantir as adequadas trocas de informação e são discutidos os formatos em que a informação deve ser trocada. Finalmente, são discutidos aspetos organizacionais, tais como a organização e nomenclatura da informação.

O plano apresentado visa a implementação de metodologias BIM no departamento de fundações e estruturas da DEB (Direção de Engenharia de Barragens), logo, corresponde a uma versão adaptada de recomendações genéricas para o efeito [8], com simplificação no número de itens abordados, pois trata-se de uma tipologia de trabalho de gabinete de projeto e dono de obra, o que não requer todas as partes de um BEP geral. O documento é maioritariamente inspirado no *BIM Project Execution Planning Guide* [8].

O BEP foi ainda complementado com outros documentos que se entendem catalisadores na implementação BIM, nomeadamente um procedimento para controlo de qualidade de modelos, um documento de especificações LOD e ainda um auxiliar de modelação, que visa apoiar os colaboradores menos familiarizados com modelação BIM. A consulta do plano pode ser efetuada na referência [9].

6. Conclusões

Com o trabalho desenvolvido foi possível obter uma perceção dos reais desafios à implementação BIM na fase de projeto de obras hidroelétricas. No caso das componentes de complexidade inferior como, por exemplo, o posto de observação e controlo e até a central, é inequívoca a possibilidade de aplicação da metodologia BIM e exploração de todas as suas dimensões. No entanto, no caso das componentes mais complexas, como a tomada de água, a modelação exigiu o recurso a programação gráfica, com maior investimento inicial, mas com elevado potencial de retorno a longo prazo dada a possibilidade de reutilização do código.

A exploração dos modelos revelou ser possível a obtenção de relevantes benefícios para o departamento de Fundações e Estruturas da Direção de Engenharia de Barragens da EDP

Produção. De facto, os modelos permitem uma melhoria de qualidade do projeto e podem ser determinantes em processos específicos (a título exemplificativo, a possibilidade de se poder complementar desenhos 2D tradicionais com cortes tridimensionais promove uma melhor compreensão da obra por parte dos diferentes intervenientes e pode prevenir erros construtivos).

O plano de execução BIM proposto revela elevado potencial organizacional, constituindo-se como um documento essencial na implementação BIM, pois promove uma melhor integração por parte dos colaboradores no novo paradigma.

Face aos trabalhos encetados e às potencialidades BIM exploradas, consideram-se criadas as condições para aplicação sistemática de metodologias BIM no contexto de projeto de obras hidroelétricas, extraindo-se todas as vantagens e benefícios inerentes a este tipo de metodologias.

Referências

- [1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*, 2nd ed. New Jersey: Wiley, 2011.
- [2] Infrastructure, *Model-based Design Powers China Dam Construction*. Consultado em 11 de maio de 2016, <https://informedinfrastructure.com/4362/model-based-design-powers-china-dam-construction/>.
- [3] EDP, *Picote II - Informação técnica*. Consultado em 13 de setembro de 2015, http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/empreendimento.php?item_id=85&cp_type=he.
- [4] J.C. Lino, M. Azenha, M. and P. Lourenço, "Integração da metodologia BIM na Engenharia de Estruturas" in *Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL (2012)*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.
- [5] BIM Forum, *Level of Development Specification*, 2013, <http://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/08/2013-LOD-Specification.pdf>.
- [6] A. Ferreira, C. Sarmiento and C. Lima, "Tomada de Água do Reforço de Potência de Venda Nova III" in *Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL (2012)*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.
- [7] The Computer Integrated Construction Research Program, *BIM Project Execution Planning Guide version 2.1*. The Pennsylvania State University, 2011.
- [8] Building and Construction Authority, *BIM Essential Guide for BIM Execution Plan*. Singapore, 2013.
- [9] A. Marques, "Implementação de metodologias BIM na Direção de Engenharia de Barragens da EDP: Casos de estudo de projeto de estruturas em obras hidroelétricas" *Tese de Mestrado*, Universidade do Minho, 2015.